

4. Андреев А.Л., Компанец И.Н., Андреева Т.Б., Шумкина Ю.П. Динамика движения доменных границ в сегнетоэлектрических жидких кристаллах в электрическом поле. – Физика твердого тела, 2009, т.51, вып.11, с.2275–2280.
5. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. Наука, Москва, с. 188-189 (1987).

DISPLAY FLC CELL MODULATES THE LIGHT WITH FREQUENCY UP TO 7 KHZ AT VOLTAGE ± 1.5 V

A. Andreev*, N. Zalyapin**, I. Kompanets*

**P.N.Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences
53, Leninskiy prospekt, Moscow, Russia*

***National Research Nuclear University «MEPhI»
31, Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia*

Abstract. Selection of the essential parameters and conditions of molecules reorientation in non-helix FLC allowed to reduce the optical response time of a display cell to 24 μ s and to increase the frequency of light modulation in the soliton mode up to 7 kHz at the control voltage ± 1.5 V.

Keywords: Ferroelectric liquid crystal, helix compensation, viscosity, optical response, soliton mode.

УДК 661.143

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОРТОФОСФАТНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ

В.В. Бахметьев¹, М.М. Сычев¹, С.П. Богданов¹, О.В. Володина¹,
Л.П. Мезенцева², А.В. Осипов², А.И. Орлова³, Н.В. Маланина³,
В.Т. Лебедев⁴, А.Е. Совестьнов⁴, А.Е. Соколов⁴, Ю.В. Кульвелис⁴,
Т.С. Минакова⁵, И.А. Екимова⁵, Н.С. Еремина⁵

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

²Институт химии силикатов им. И.В. Гребеникова РАН

³Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

⁴Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова

⁵Национальный исследовательский Томский государственный университет

Аннотация. Разработана технология, позволяющая золь-гель методом из водных растворов получать эффективные рентгенолюминофоры состава $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$, в том числе с наноразмерными частицами, и направленно регулировать цвет свечения синтезируемых люминофоров в области от красного до зеленого. Исследованы спектры и интенсивность рентгенолюминесценции, фазовый состав, и поверхностные свойства полученных лю-

минофоров в зависимости от условий синтеза. Найдены условия термической обработки люминофоров, при которых синтезированные образцы обладают устойчивостью к взаимодействию с водной средой.

Ключевые слова: люминофор, рентгенолюминесценция, ортофосфат цинка, золь-гель метод, наночастицы.

Введение

Люминофоры на основе ортофосфатов являются одними из наиболее эффективных преобразователей рентгеновского и гамма-излучения в видимый свет с высокой радиационной стабильностью и относительно высоким энергетическим выходом радиолюминесценции (до 5 %) [1]. Ортофосфаты цинка и кальция являются нетоксичными химическими соединениями, что позволяет использовать их в медицинских целях в составе фармакологических препаратов, предназначенных для введения в организм, чувствительных к рентгеновскому и гамма-излучениям.

Особенностью люминофора $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ является наличие в спектре люминесценции двух полос: «зеленой», соответствующей иону Mn^{2+} в тетраэдрической координации, и «красной», относящейся к люминесценции иона Mn^{2+} в октаэдрической координации. Преобладание в спектре той или иной полосы определяется концентрацией активатора и кристаллической модификацией основы люминофора (α , β , или γ). При комнатной температуре стабильна α -фаза $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, в которой Mn^{2+} находится в тетраэдрической координации и дает полосу люминесценции с $\lambda_{\text{max}} = 550$ нм. При температуре выше 942 °С стабильна β -фаза $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, метастабильная при комнатной температуре. В ней Mn^{2+} находится в октаэдрической координации и дает полосу с $\lambda_{\text{max}} = 638$ нм. При температуре ниже 900 °С в ограниченном диапазоне концентраций Mn^{2+} может образовываться γ -фаза $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, в которой Mn^{2+} также находится в октаэдрической координации и люминесцирует с $\lambda_{\text{max}} = 635$ нм [2]. Таким образом, изменяя фазовый состав основы, можно направленно регулировать цвет свечения люминофора. Для использования в составе фармакологических препаратов необходимы люминофоры, излучающие в «красной» области, имеющие размер частиц, позволяющий приготовить устойчивые коллоидные растворы.

Традиционной технологией получения ортофосфатных люминофоров является высокотемпературная обработка шихты исходных компонентов [3]. В результате синтеза получаются крупнозернистые люминофоры, размер частиц которых не позволяет приготовить из них коллоидные растворы, пригодные для применения в медицине. Нами была разработана технология синтеза люминофоров $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ путем соосаждения компонентов золь-гель методом, позволяющая уменьшить длительность и температуру последующей термообработки, и получать более мелкозернистые образцы, в том числе, с наноразмерными частицами.

Экспериментальная часть

Синтез люминофоров $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ осуществлялся путем осаждения геля из водных растворов исходных компонентов с последующей высокотемпературной обработкой полученного осадка. Исходными компонентами являлись нитраты цинка и марганца. В качестве осадителя использовалась ортофосфорная кислота (осаждение в кислой среде) или однозамещенный фосфорнокислый аммоний (осаждение в нейтральной среде). При осаждении в нейтральной среде для повышения выхода целевого продукта и уменьшения его дисперсности в раствор добавлялся этиловый спирт. Использование

золь-гель метода позволяло получить исходный материал с мелким размером частиц. Содержание активатора (марганца), вводимого в люминофор, варьировалось в диапазоне 0,7...10 мольных %. Для получения образцов стехиометрического состава, исходные компоненты брались в эквивалентных количествах. После осаждения гель отделялся от раствора, промывался бидистиллированной водой и высушивался в вакууме. Высушенный осадок подвергался многоступенчатому отжигу при температурах 600, 800, 900 и 1000 °С с промежуточным охлаждением и размолот между ступенями. Такой способ отжига был применен для промежуточной дезагрегации частиц, полученных при осаждении, с целью уменьшить их срастание и рост размеров.

Для возбуждения рентгенолюминесценции синтезированных люминофоров использовался промышленный рентгеновский аппарат РУП-150 с трубкой 0,3БПВ6-150 с $U_a = 50$ кВ и $J_a = 2$ мА, дающий «жесткое» рентгеновское излучение с длиной волны в диапазоне $\lambda \approx 0,3...2$ Å (сплошной тормозной спектр с граничной $\lambda = 0,2$ Å и дискретными характеристическими спектрами К-серии меди и L-серии вольфрама, $\lambda = 1,2...1,5$ Å, с интегральной интенсивностью одного порядка). Регистрация спектров проводилась с помощью спектрофлуориметра AvaSpec-2048. Исследование размеров частиц синтезированных люминофоров осуществлялось с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM-3000, атомно-силового микроскопа ACM Solver P47 Pro, а также методом малоуглового рентгеновского рассеяния на Курчатовском источнике синхротронного излучения (установка DICS1). Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-3 под управлением компьютерной программы «DIFWIN1». Исследование поверхностных свойств нанолюминофоров в данной работе проводилось индикаторным методом, подробно описанным в [4 - 7]. Метод основан на селективной адсорбции цветных кислотно-основных индикаторов из водных растворов на поверхности дисперсных твердых веществ.

Результаты и обсуждение

В наших предыдущих работах [8; 9] было показано, что среда осаждения (кислая или нейтральная) слабо влияет на люминесцентные свойства и фазовый состав синтезированных люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$. В то же время, было установлено, что повышение концентрации марганца приводит к росту в спектре рентгенолюминесценции «красной» полосы, и уменьшению «зеленой». При более высоких концентрациях марганца удавалось снизить температуру последней стадии термообработки и сохранить преобладание в спектре люминесценции «красной» полосы, необходимой для медицинского применения люминофоров. Одновременно с тем, более низкая температура прокаливания способствовала получению образцов с более мелкими частицами. Поэтому, в первую очередь, задачей данной работы было исследование влияния концентрации марганца и температуры отжига на свойства люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$.

На рис.1 представлены спектры рентгенолюминесценции образцов, осажденных в нейтральной среде с добавлением этилового спирта и отожженных при температурах на последней стадии ступенчатого отжига достигавших 800 и 900 °С. Видно, что повышение концентрации Mn^{2+} способствует росту интенсивности «красной» полосы и уменьшению интенсивности «зеленой». На рисунке 2 показаны спектры рентгеновской дифракции этих же образцов, из которых видно, что изменение спектров рентгенолюминесценции обусловлено уменьшением содержания в люминофорах α -фазы $Zn_3(PO_4)_2$ и ростом содержания γ -фазы (данные карточек ICDD PDF для α - и γ -фаз $Zn_3(PO_4)_2$ также приведены на рис. 2).

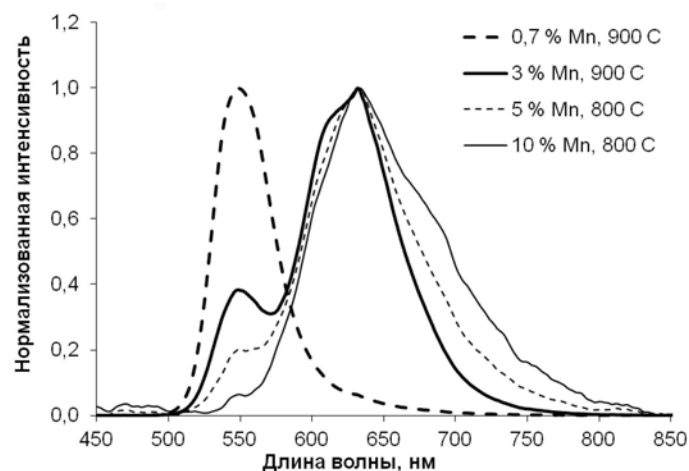


Рис.1. Влияние концентрации марганца и температуры последней стадии отжига на спектры рентгенолюминесценции образцов $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$, осажденных в нейтральной среде с добавлением этилового спирта

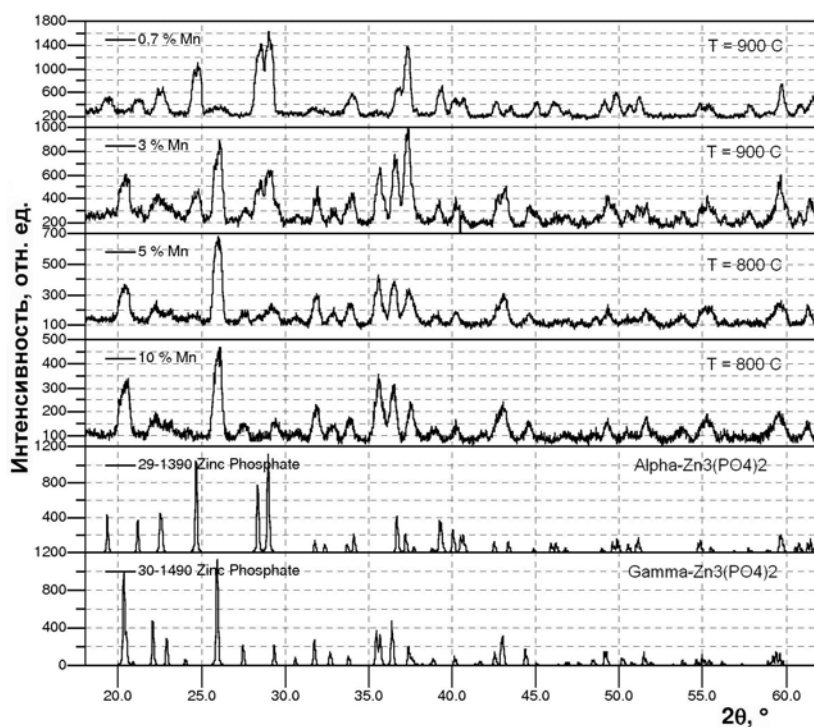


Рис.2. Влияние концентрации марганца и температуры последней стадии отжига на спектры рентгеновской дифракции образцов $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$, осажденных в нейтральной среде с добавлением этилового спирта

При повышении температуры на последней стадии термообработки до 1000 °С, спектр рентгенолюминесценции $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ состоит только из «красной» полосы уже при концентрации марганца 3 мольных % (рис.3). При концентрации марганца 0,7 мольных %, в спектре присутствует слабая «зеленая» полоса. Спектры рентгеновской

дифракции образцов, температура прокаливания которых достигала 1000 °С (рис.4), соответствуют β -фазе $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$, образующейся при температуре выше 942 °С. Поскольку «зеленую» полосу люминесценции может давать только $\alpha\text{-Zn}_3(\text{PO}_4)_2\text{:Mn}^{2+}$, очевидно, α -фаза также присутствует в образце с содержанием Mn^{2+} 0,7 мольных %, в малом количестве, незаметном на спектрах рентгеновской дифракции.

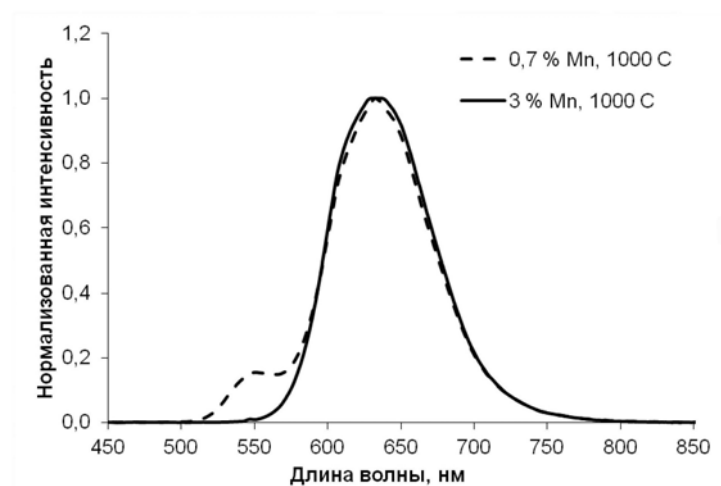


Рис.3. Влияние концентрации марганца на спектры рентгенолюминесценции образцов $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2\text{:Mn}^{2+}$, осажденных в нейтральной среде с добавлением этилового спирта и отожженных при 1000 °С

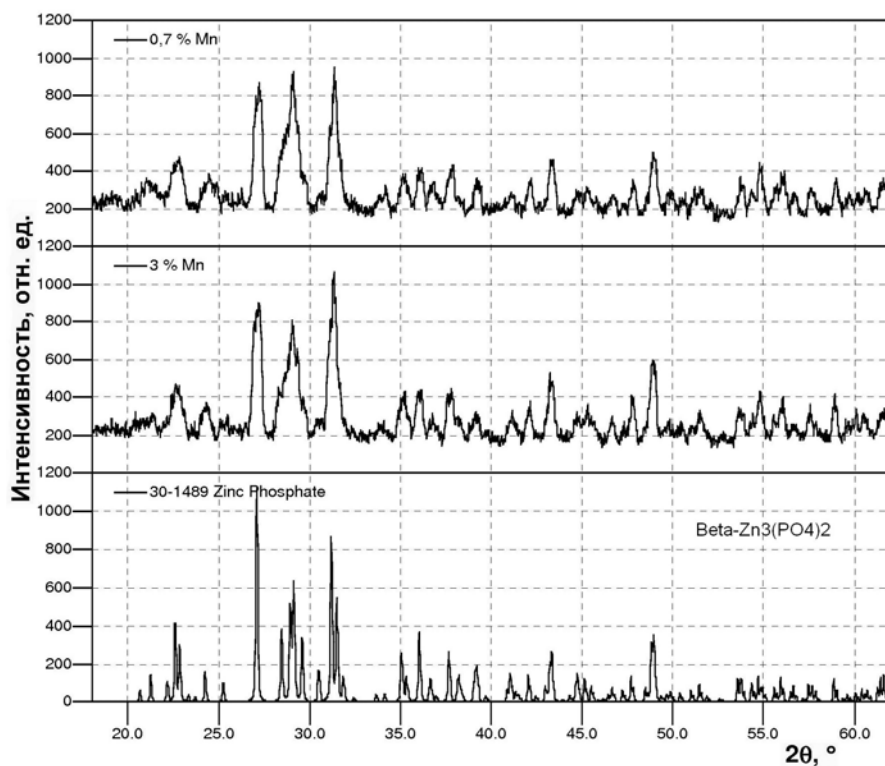


Рис.4. Влияние концентрации марганца на спектры рентгеновской дифракции образцов $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2\text{:Mn}^{2+}$, осажденных в нейтральной среде с добавлением этилового спирта и отожженных при 1000 °С

На рис.5 показан пример растровых электронных микрофотографий для образца $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ с содержанием Mn^{2+} 0,7 мольных %, отожженного на последней стадии при температурах 900 и 1000 °С. Видно, что после стадии отжига при 900 °С в люминофоре наблюдаются крупные агрегаты размером 20...50 мкм, состоящие из сросшихся мелких частиц, размером 0,5...10 мкм. После отжига при 1000 °С происходит срастание агрегатов в крупные частицы, размер которых составляет 10...50 мкм, при этом в образце остается небольшое количество мелких зерен, имеющих размер 0,5...5 мкм. В то же время, исследование образца, отожженного на последней стадии при 900 °С, методом атомно-силовой микроскопии (AFM), показало наличие в составе люминофора наночастиц со средним размером приблизительно 60 нм (рис.6). Исследование синтезированных люминофоров методом малоуглового рентгеновского рассеяния (SAXS) также показало наличие в составе образцов плотных объектов с четкими границами между рассеивающими фазами (типично для порошков) со средним размером частиц около 60 нм (рис.7). Полученные данные свидетельствуют о том, что в синтезированных образцах наряду с относительно крупными частицами размером 0,5...10 мкм, заметными на растровых электронных микрофотографиях, присутствуют и наночастицы размером 20...120 нм, которые четко обнаруживаются методами AFM и SAXS.

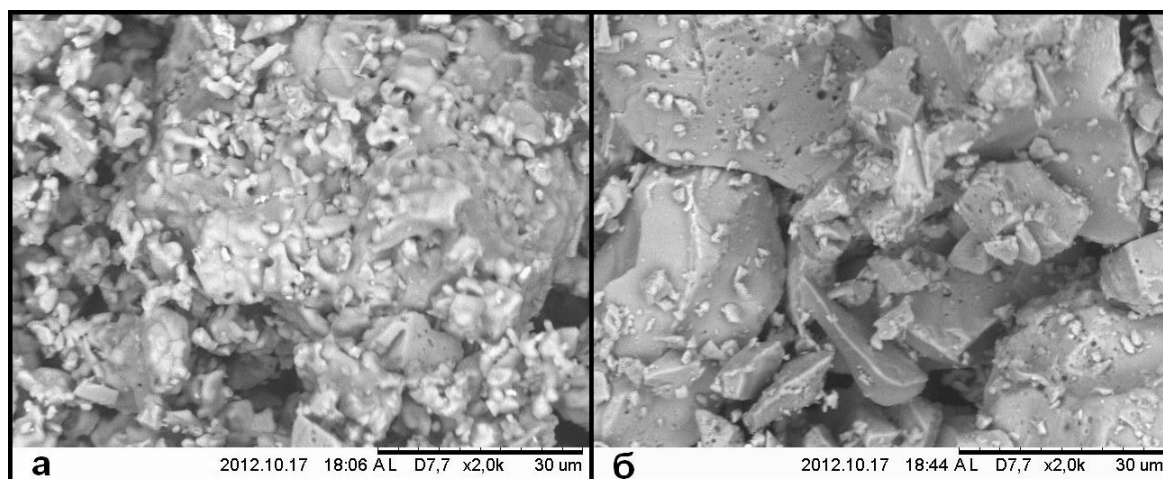


Рис. 5. Растровые электронные микрофотографии образцов $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ с содержанием марганца 0,7 мольных %, отожженных на последней стадии при температурах 900 °С (а) и 1000 °С (б)

На основании полученных результатов можно было бы сделать предположение, что наиболее подходящим для медицинского использования является образец $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ с содержанием марганца 10 мольных %, отжигавшийся на последней стадии при 800 °С, как обладающий «красным» цветом свечения и наименьшим размером частиц за счет низкой температуры синтеза. Однако, при приготовлении фармакологических препаратов важное значение имеет также устойчивость образца к взаимодействию с водой, входящей в состав препаратов для внутривенных инъекций.

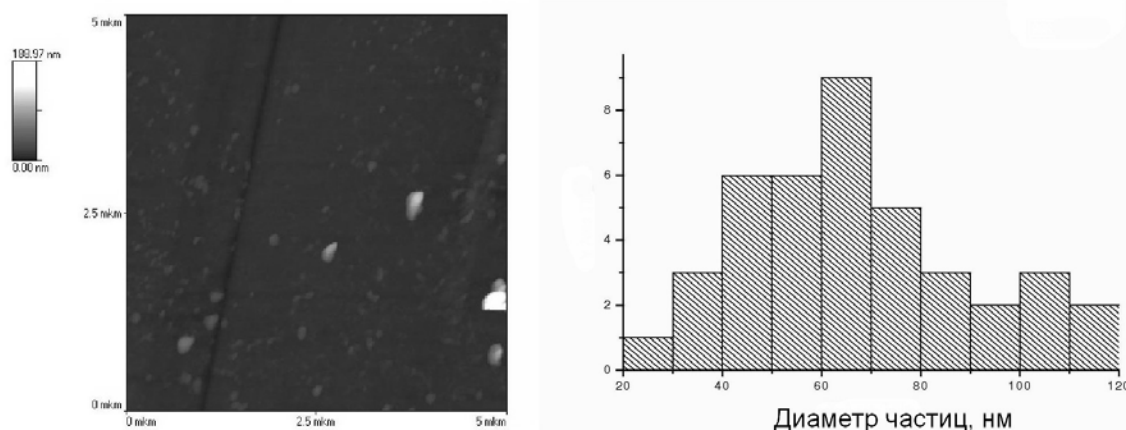


Рис. 6. Атомно-силовая микрофотография образца $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$, отожженного на последней стадии при температуре 900°C , и гистограмма распределения его частиц по размерам, рассчитанная по данным АСМ

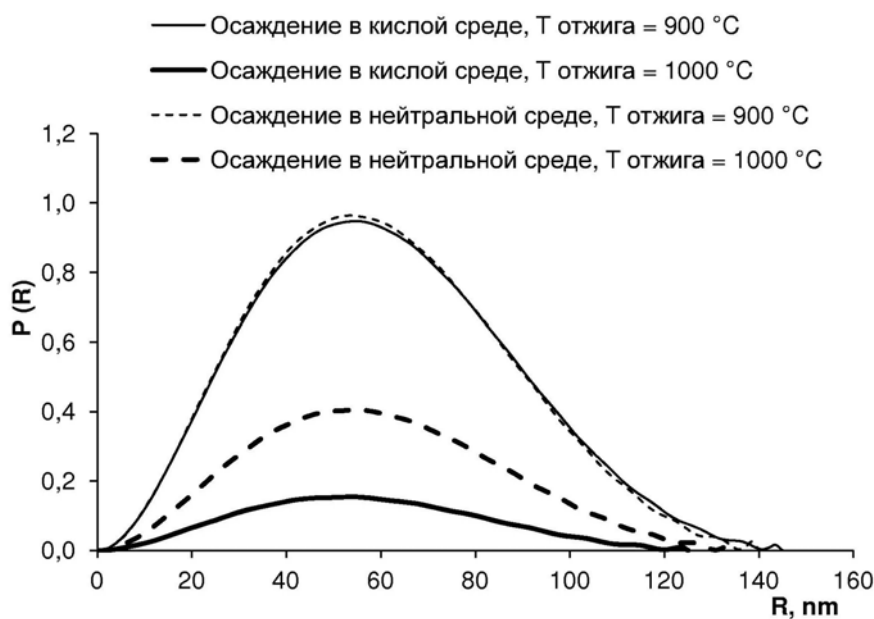


Рис. 7. Распределение по размерам рассеивающих объектов, определенное методом малоуглового рентгеновского рассеяния, для образцов $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ с содержанием марганца 3 мольных %

Для исследования взаимодействия синтезированных люминофоров с водой был проведен «мокрый» помол образцов на вибромельнице в течение 25 часов в растворе, включающем бидистиллированную воду, этиловый спирт и диспергатор ОП-10. Рентгенофазовый анализ показал, что фазовый состав образцов, отжигавшихся на последней стадии при 800°C , после «мокрого» помола сильно изменился (рис.8). В образцах стала преобладать фаза $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Присутствуют также фазы $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и небольшое количество остаточного $\gamma\text{-Zn}_3(\text{PO}_4)_2$. В то же время, спектры рентгеновской ди-

фракции, а следовательно, и фазовый состав образцов, отжигавшихся на последней стадии при температуре 900 °С, в результате «мокрого» помола не изменились, что свидетельствует о более высокой устойчивости этих образцов к взаимодействию с водой.

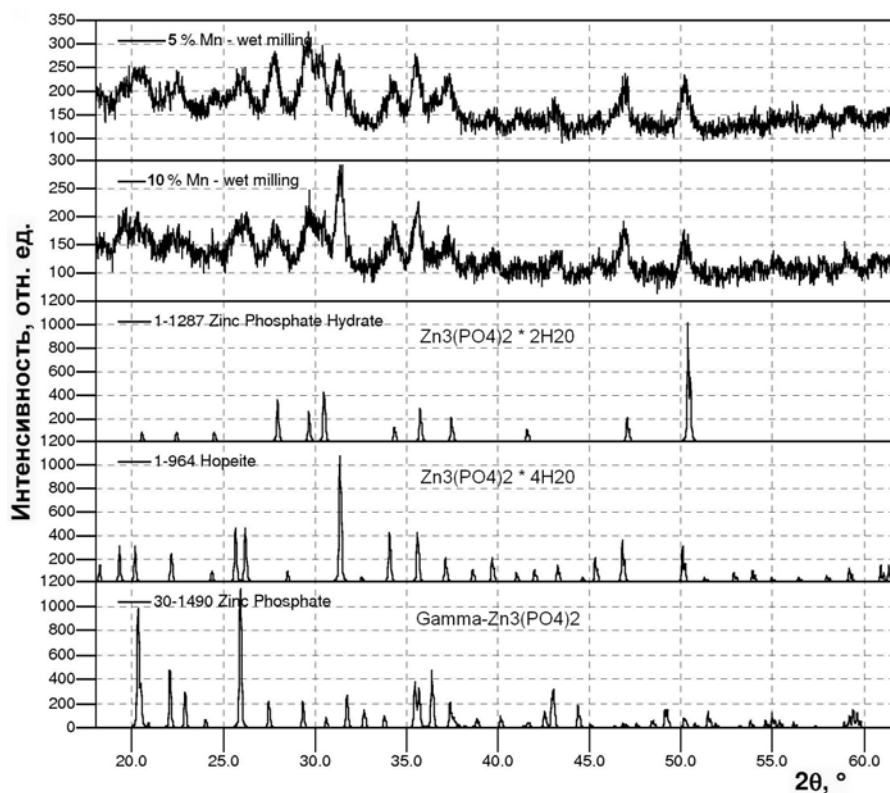


Рис.8. Сравнение спектров рентгеновской дифракции образцов, осажденных в нейтральной среде и отожженных при 800 °С, после «мокрого» помола в течение 25 часов, с данными карточек ICDD PDF для ортофосфата цинка и кристаллогидратов

Следовательно, из исследованных образцов, наиболее подходящим для приготовления фармакологических препаратов является люминофор, отожженный на последней стадии при температуре 900 °С с содержанием марганца 3 мольных %, как имеющий наименьший размер частиц среди образцов, устойчивых к взаимодействию с водой, в спектре рентгенолюминесценции которого преобладает «красная» полоса.

В процессе взаимодействия дисперсных твердых тел с растворами важное значение имеют поверхностные свойства веществ. Кроме того, поверхностные свойства люминофоров играют важную роль в процессе люминесценции, поскольку поверхностные активные центры могут снижать выход люминесценции за счет безызлучательной рекомбинации на них электронов. В наших предыдущих работах были подробно исследованы поверхностные свойства цинк-сульфидных люминофоров, как крупнозернистых, с размерами частиц 20...40 мкм [6], так и нанолюминофоров, имеющих размеры частиц

1...10 нм [7]. Была разработана модель, описывающая строение активных кислотно-основных центров на поверхности цинк-сульфидных люминофоров [6; 7].

В данной работе также было проведено исследование поверхностных свойств синтезированных люминофоров методом адсорбции цветных кислотно-основных индикаторов из водных растворов.

Пример спектров распределения центров адсорбции (РЦА) для синтезированных люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$ с содержанием марганца 0,7 мольных % приведен на рис.9, а на рис.10 представлено сопоставление суммарного содержания активных центров на поверхности этих образцов (Σq_{pKa}) с интенсивностью их рентгенолюминесценции.

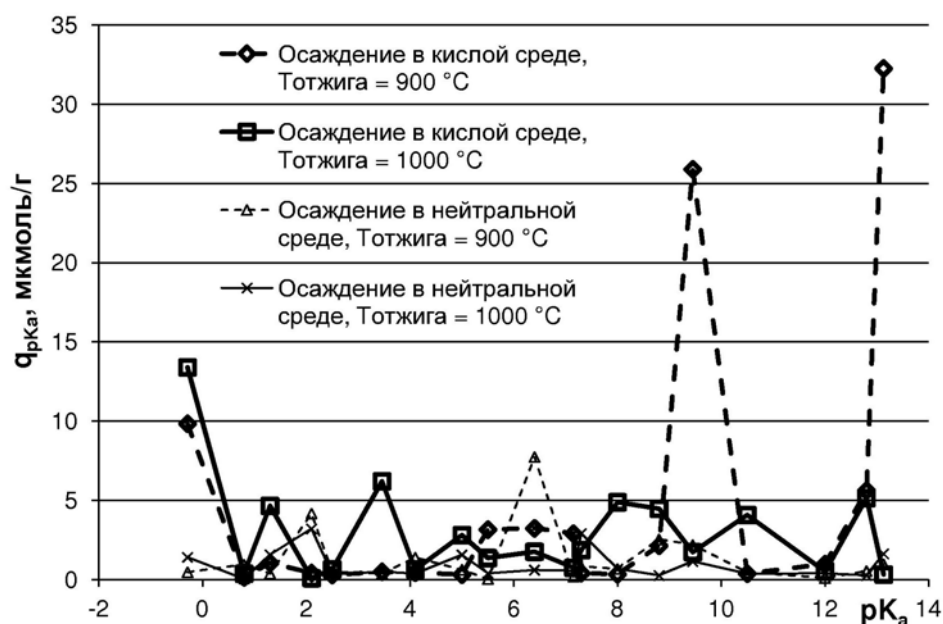


Рис. 9. Спектры распределения центров адсорбции (РЦА) на поверхности люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$ с содержанием марганца 0,7 мольных %

Если для содержания на поверхности люминофоров активных центров с конкретными значениями кислотности pK_a взаимосвязи с условиями синтеза и рентгенолюминесцентными свойствами обнаружить не удалось, то для Σq_{pKa} были выявлены следующие закономерности:

1. Люминофоры, осажденные в среде, содержащей этиловый спирт, имеют меньшее суммарное содержание активных центров на поверхности по сравнению с образцами, осажденными в кислой среде.

2. Для каждого способа осаждения люминофоров повышение температуры на последней стадии отжига приводит к увеличению интенсивности рентгенолюминесценции, и, одновременно с тем, к уменьшению суммарного содержания активных центров на поверхности образцов. Подобная закономерность уже наблюдалась нами ранее для цинк-сульфидных люминофоров и может быть связана с тем, что происходящее при этом увеличение размеров частиц приводит к уменьшению их удельной поверхности, а

следовательно, снижает содержание поверхностных дефектов, являющихся центрами тушения люминесценции [10; 11].

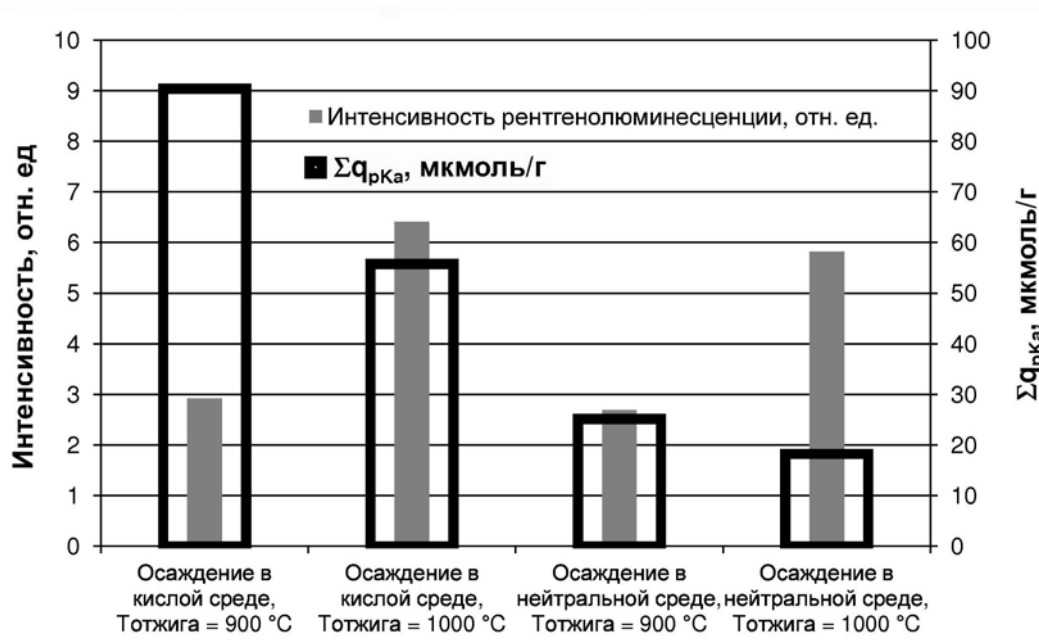


Рис. 10. Сопоставление интенсивности рентгенолюминесценции и суммарного содержания активных центров (Σq_{pKa}) на поверхности люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$ с концентрацией марганца 0,7 мольных %

Выводы

1. Разработана новая технология синтеза люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$ золь-гель методом из водных растворов компонентов, обладающих эффективной люминесценцией при возбуждении рентгеновским излучением, позволяющая направленно регулировать цвет свечения получаемых люминофоров от красного до зеленого.

2. Установлено, что в составе синтезированных люминофоров присутствуют как относительно крупные частицы с размерами до 50 мкм, так и наночастицы с размерами менее 100 нм. В дальнейшем, частицы нужных размеров могут быть выделены фракционированием синтезированных образцов.

3. Исследовано влияние условий синтеза (среды осаждения, концентрации активатора и температуры отжига) на фазовый состав люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$. Показано, что в кристаллической решетке синтезированных образцов присутствуют ионы марганца, находящиеся как в тетраэдрической, так и в октаэдрической координации.

4. Исследована стабильность синтезированных люминофоров при взаимодействии с водными растворами. Установлены условия термической обработки, позволяющие получать образцы, сохраняющие свои свойства при нахождении в водной среде.

5. Найдена взаимосвязь поверхностных и люминесцентных свойств люминофоров $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$ с условиями их осаждения и термической обработки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1644.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михальченко Г.А. Радиолюминесцентные излучатели. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 152 с.
2. Stephens J. S., Calvo C. Crystal structure of β - $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ // Canadian Journal of Chemistry. - 1967. - V. 45. - P. 2303-2312.
3. William M. Yen, Marvin J. Weber. Inorganic phosphors: compositions, preparation, and optical properties. - CRC Press, 2004. - 475 p.
4. Танабе К. Твердые кислоты и основания. - М.: Мир, 1973. - 183 с.
5. Нечипоренко А.П. Донорно-акцепторные свойства поверхности оксидов и халькогенидов: автореф. дис ... докт. хим. наук. - СПб., 1995. - 20 с.
6. Бахметьев В.В., Сычев М.М., Корсаков В.Г. Модель активных кислотно-основных центров на поверхности цинк-сульфидных электролюминофоров // Журнал прикладной химии. - 2010. - Т. 83. № 11. - С. 1170-1177.
7. Бахметьев В.В., Мякин С.В., Корсаков В.Г., Абызов А.М., Сычев М.М. Исследование поверхностных и люминесцентных свойств наноллюминофоров ZnS:Mn^{2+} // Физика и химия стекла. - 2011. - Т. 37. № 5. - С. 734-743.
8. Бахметьев В.В., Сычев М.М., Совестнов А.Е. и др. Наноллюминофоры для фотодинамической терапии онкологических заболеваний: материалы научно-практической конференции, посвященной 184-й годовщине образования Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), СПбГТИ(ТУ), 29-30.11.2012. - СПб.: Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2012. - С. 198-199.
9. Бахметьев В.В., Сычев М.М., Богданов С.П. и др. Синтез ортофосфатных люминофоров медицинского назначения золь-гель методом // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). - 2012. - Т. 43. № 17. - С. 44-47.
10. Бахметьев В.В., Сычев М.М., Корсаков В.Г. и др. Поверхностные свойства и люминесценция «зеленого» электролюминофора: материалы Международной конференции по люминесценции, посвященной 110-летию со дня рождения академика С.И. Вавилова. - М., ФИАН, 2001, - С. 240.
11. Бахметьев В.В. Синтез и направленное регулирование электрооптических свойств электролюминофоров на основе сульфида цинка: автореф. дис ... канд. хим. наук. - СПб., 2005. - 20 с.

DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS AND STUDY OF THE PROPERTIES OF ORTHOPHOSPHATE PHOSPHORS

V. Bakhmetyev¹, M. Syrov¹, S. Bogdanov¹, O. Volodina¹,
L. Mezentsева², A. Osipov², A. Orlova³, N. Malanina³,
V. Lebedev⁴, A. Sovestnov⁴, A. Sokolov⁴, Yu. Kulvelis⁴,
T. Minakova⁵, I. Ekimova⁵, N. Eremina⁵

¹*Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*

²*Institute of Silicate Chemistry of RAS*

³*Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod*

⁴*B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute*

⁵*National Research Tomsk State University*

Abstract. A technology, that allows production effective x-ray luminescent phosphors $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Mn}^{2+}$ with nanosized particles from the water solution by sol-gel method, and directional regulated their luminescence color from green to red was developed. A x-ray intensity and spectra, phase structure, and surface properties of synthesized samples depending on the synthesis conditions was studied. A conditions of phosphors heat treatment, after which the samples is stabile from interaction with the water environment was found.

Keywords: phosphor, x-ray luminescence, zinc orthophosphate, sol-gel method, nanoparticles.

УДК 621.31

РАСЧЕТ ФОРМЫ РАДИАТОРОВ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

И.В. Попов*, В.В. Беляев**

*ФГУП «ЦНИИ «Комета»

115280, Москва, Велозаводская ул., 5

**Московский государственный областной университет (МГОУ)

105005, Москва, ул. Радио, д. 10а

Аннотация. Рассчитана эффективность тепловыделения различных радиаторов специальной формы. При этом исходили из оценки площади тепловыделяющей поверхности. Предложены и запатентованы конструкции радиаторов для изготовления методом экструзии.

Ключевые слова: светодиод, светильник, радиатор.

При работе светодиода далеко не вся подводимая к нему электрическая энергия расходуется на излучение. Значительная ее часть (60-80%) выделяется в виде тепла. Температура p-n перехода, соответствующая температуре активной области кристалли-